



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Grundbrud

Undervisningsnote i geoteknik

Nielsen, Søren Dam

Publication date:
2018

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):

Nielsen, S. D. (2018). *Grundbrud: Undervisningsnote i geoteknik*. (1 udg.) Aalborg Universitet, Institut for Byggeri og Anlæg. DCE Lecture notes Nr. 44

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

AALBORG UNIVERSITY

UNDERVISNINGSNOTE I GEOTEKNIK

Grundbrud

Forfatter:
Søren Dam NIELSEN

Institut:
Byggeri og Anlæg

DCE LECTURE NOTES No. 44



AALBORG UNIVERSITET

AALBORG UNIVERSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

Undervisningsnote i geoteknik:
Direkte fundamenters bæreevne

1. udgave

Udgivet:
November 2018

Aalborg Universitet,
Institut for byggeri og anlæg,
Thomas Manns Vej 23,
9220 Aalborg Ø, Danmark

Henvisning for publiseret udgave (Harvard):
Nielsen, S. D. (2018). *Undervisningsnote i geoteknik: Grundbrud*. Institut for byggeri og anlæg, Aalborg Universitet, Aalborg. DCE Lecture Notes No. 44.

ISSN: 1901-7286
DCE Lecture Notes No. 44

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



AALBORG UNIVERSITET

Forord

Denne undervisningsnote er rettet mod studerende, som deltager i kurset *Fundering og jordtryk* på Byggeri og Anlægs 5. semester, og skal læses som et supplement til eksisterende undervisningsmateriale. Jeg håber, at denne note kan være med til at give en bedre forståelse af grundbrudsproblematikker. Da denne note endnu er i sit første stadie vil jeg værdsætte hvis ideer og forslag til forbedringer sendes til sdn@civil.aau.dk.

Søren Dam Nielsen
Aalborg 2018

Indhold

1	Introduktion til grundbrud	1
2	Eksempler på kritisk gradient	3
2.1	Eksempel 1	3
2.2	Eksempel 2	4
2.3	Eksempel 3	5

Kapitel 1

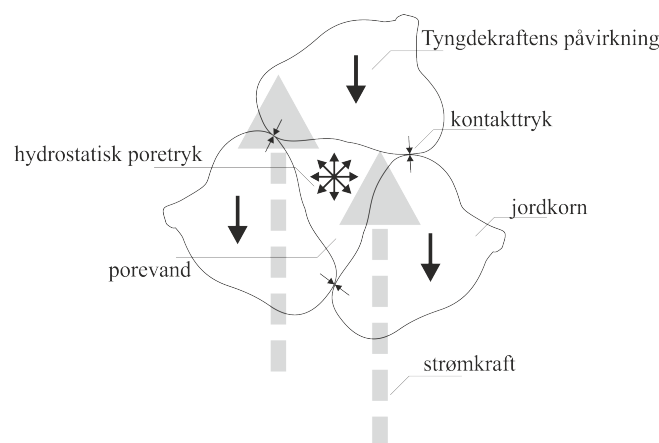
Introduktion til grundbrud

Grundbrud er et fænomen, der opstår når jordens vægt opvejes af strømkræfter. Dette kan typisk opstå i forbindelse med de opadrettede strømninger af vandet i jordens pore der fremkommer som følge af en grundvandssænkning eller et jordskælv.

I sandjord vil en reduktion af de effektive spændinger til nul betyde at kornene mister kontaktrykket mellem partiklerne. I denne situation opstår der flydejort eller kviksand. I denne tilstand opfører sandet sig som en væske (likvid) (med en rumvægt på omkring 20 kN/m^3) og har fuldstændigt mistet sin styrke. På engelsk kaldes dette fænomen *liquefaction*.

Modsat sand, vil leren ikke miste kontaktrykket mellem kornene når de effektive spændinger reduceres til nul. Dette skyldes lerens kohæsion. Der vil derfor ikke være fare for liquefaction i ler, og opblødning af jorden ifm. jordskælv skal derfor ikke forventes. Er der derimod tale om en byggegrube, vil det lervolumen, som er indrammet af eks. spunsvægge, fungere som en prop. Opdriften på denne prop kan blive så stor at hele lervolumen skydes opad. Selvom dette ikke kan beskrives som liquefaction, må det forventes at leren har mistet sine intakte styrkeegenskaber.

Figur 1.1 viser en illustration af jordpartikler, som er påvirket af tyngdekraften, et hydrostatisk vandtryk samt et vandtryk fra en opadrettet strømning. Så længe tyngdekraften overstiger summen af de to vandtryk (hydrostatisk + strømkræft) er der kontakt mellem jordens korn. I dette tilfælde er de effektive spændinger større end 0. Hvis summen af strømkræften og det hydrostatiske tryk overstiger kontaktrykket mellem kornene, reduceres de effektive spændinger til 0, og jorden opfører sig nu som en væske og grundbrud er indtruffet.



FIGUR 1.1: Principskitse for strømkræfters påvirkning på et jordens korn.

De effektive spændinger (σ') kan findes som forskellen mellem de totale spændinger (σ) og de kræfter som virker på porevandet. Det samlede vandtryk udgøres af det hydrostatiske tryk i porevandet (u) og strømkræften (j). Hertil bestemmes strømkræften som produktet af gradienten (i) og væskens rumvægt, som i de fleste geotekniske problemstillinger til være

rumvægten af vand (γ_w).

$$\sigma' = 0 = \sigma - u \quad (1.1)$$

$$= \gamma_m d - \gamma_w d - i \gamma_w d \quad (1.2)$$

Da rumvægten af jorden er større end rumvægten af vand, kan grundbrud kun opstå når der sker en strømning af porevandet. Man kan således definere en strømningsgradient hvor grundbrud netop indtræffer. Denne kaldes for den kritiske gradient (i_c) og er situationsafhængig. I de efterfølgende kapitler, vil forskellige eksempler på bestemmelse af den kritiske gradient blive givet.

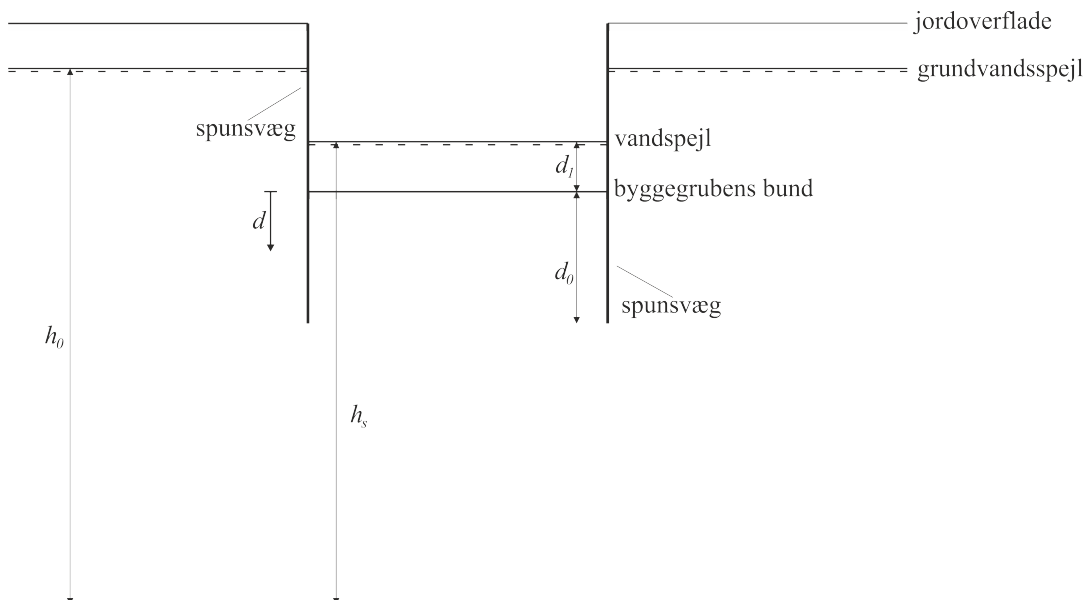
Kapitel 2

Eksempler på kritisk gradient

Som nævnt tidligere opstår grundbrud når de effektive spændinger i jorden falder til 0. Som vist i afsnit 2.1 Eksempel 1, undersøges grundbrud ofte ved at sammenligne en kritisk gradient (i_c) med den faktiske gradient (i). Den kritiske gradient er imidlertid situationsafhængig, og det er derfor ikke muligt at opstille et generelt udtryk, som gælder i alle tilfælde. Derfor er der i de følgende afsnit givet en række eksempler på, hvordan den kritiske gradient kan bestemmes.

2.1 Eksempel 1

Dette eksempel tager udgangspunkt i situationen illustreret jvf. figur 2.1. Figuren viser en byggegrube udgravet i en vilkårlig jordart. Der er i dette tilfælde tale om fri strømning, og vandspejlet inde i byggegruben ligger **over** byggegrubens bund. Idet der opstår en forskel i trykniveau mellem vandspejlet i byggegruben og det omkringliggende vandspejl, vil der foregå en strømning, som starter uden for byggegruben, under spunsvæggene og ind i byggegruben.



FIGUR 2.1: Byggegrube.

De effektive spændinger i dybden d kan bestemmes således

$$\sigma' = \sigma - u \quad (2.1)$$

$$= \gamma_m d - (\gamma_w d + i \gamma_w d) \quad (2.2)$$

$$= (\gamma_m - \gamma_w - i \gamma_w) d \quad (2.3)$$

Grundbrud opstår når de effektive spændinger falder til 0. Jvf. ligning (2.3) er de eneste variable gradienten (i) og dybden (d). $\sigma'(d) = 0$ er opfyldt ved den trivielle løsning $d = 0$, som netop er ved byggegrubens bund. Denne løsning er dog ikke brugbar, da den ikke fortæller om der er grundbrud eller ej, men blot viser at de effektive spændinger ved jordoverfladen er 0. Det er således kun gradienten (i), som er afgørende for om der opstår grundbrud eller ej. Ved at definere en kritisk gradient (i_c), som den gradient der netop leder til grundbrud kan ligning (2.3) skrives som

$$\sigma' = (\gamma_m - \gamma_w - i_c \gamma_w) d = 0 \quad (2.4)$$

$$(2.5)$$

og ved at isolere den kritiske gradient fås

$$i_c = \frac{\gamma_m - \gamma_w}{\gamma_w} \quad (2.6)$$

Den faktiske gradient (i) bestemmes som

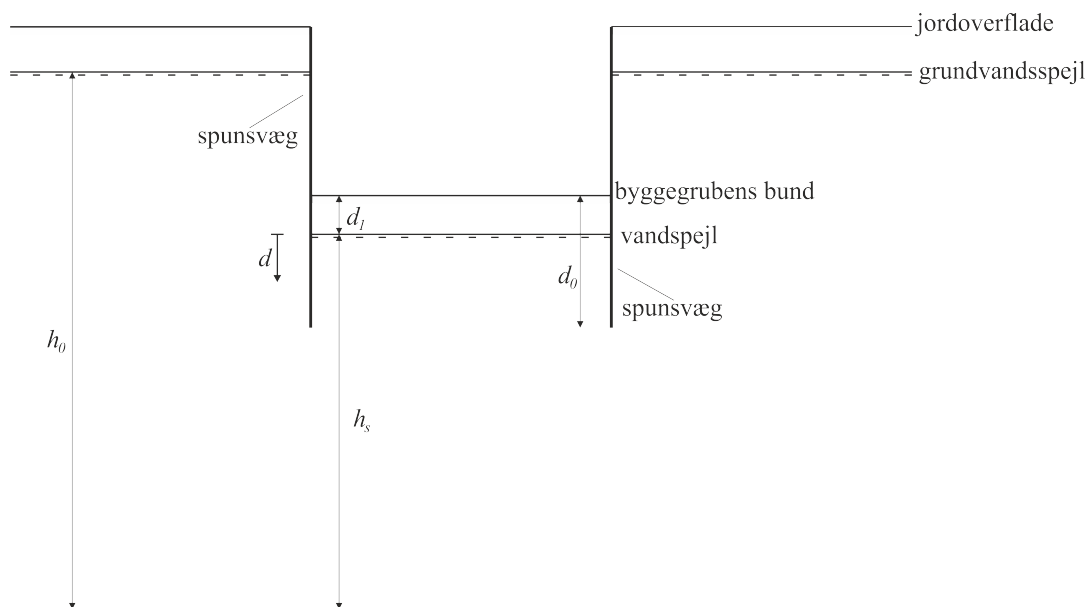
$$i = \frac{h_0 - h_s}{d_0} \quad (2.7)$$

For at der ikke skal indtræffe grundbrud skal den faktiske gradient være mindre end den kritiske gradient.

$$i < i_c \quad (2.8)$$

2.2 Eksempel 2

Dette eksempel tager udgangspunkt i situationen illustreret jvf. figur 2.1. Figuren viser en byggegrube udgravet i en vilkårlig jordart. Der er i dette tilfælde tale om fri strømning, og vandspejlet inde i byggegruben ligger **under** byggegrubens bund.



FIGUR 2.2: Byggegrube.

De effektive spændinger i dybden d kan bestemmes således

$$\sigma' = \sigma - u \quad (2.9)$$

$$= \gamma_d d_1 + \gamma_m d - (\gamma_w d + i \gamma_w d) \quad (2.10)$$

$$= \gamma_d d_1 + (\gamma_m - \gamma_w - i \gamma_w) d \quad (2.11)$$

Ved at sætte udtrykket for de effektive spændinger lig nul og isolere den kritiske gradient fås

$$i_c = \frac{\gamma_d \frac{d_1}{d} + \gamma_m - \gamma_w}{\gamma_w} \quad (2.12)$$

Den kritiske gradient, skal sammenlignes med den faktiske gradient (i), der bestemmes som

$$i = \frac{\Delta h}{(d_0 - d_1)} = \frac{h_0 - h_s}{d_0 - d_1} \quad (2.13)$$

For at undgå grundbrud må den faktiske gradient ikke overstige den kritiske

$$i < i_c \quad (2.14)$$

$$\frac{h_0 - h_s}{d_0 - d_1} < \frac{\gamma_d \frac{d_1}{d} + \gamma_m - \gamma_w}{\gamma_w} \quad (2.15)$$

Desto lavere den kritiske gradient er, desto større er risikoen for grundbrud. Derfor kan d erstattes med $d_0 - d_1$

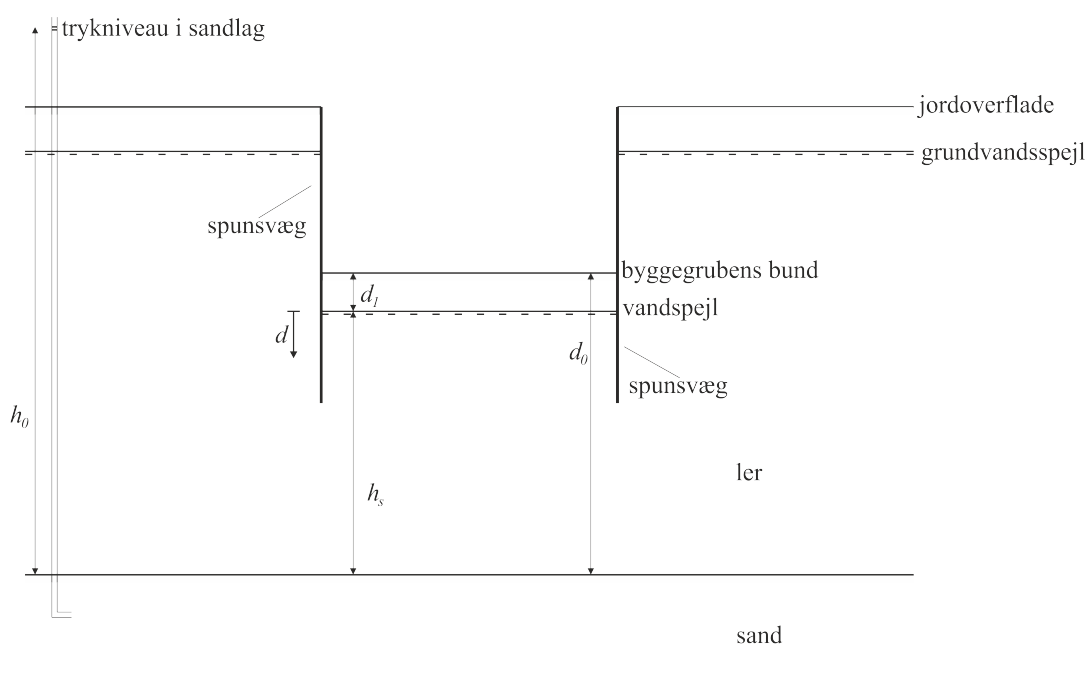
$$i < i_c \quad (2.16)$$

$$\frac{h_0 - h_s}{d_0 - d_1} < \frac{\gamma_d \frac{d_1}{d_0 - d_1} + \gamma_m - \gamma_w}{\gamma_w} \quad (2.17)$$

2.3 Eksempel 3

Eksemplet jvf. figur 2.3 viser en byggegrube hvis sider er stabiliserede med spunsvægge. Byggegruben er udgravet i ler, som er underlejret af et sandlag, hvori der foregår en artesisk strømning med et trykniveau, som er højere end trykniveauet i leren. Der vil derfor foregå en strømning fra sandlaget og igennem lerlaget.

Udtrykket for den kritiske gradient for dette eksempel, bliver identisk med udtrykkes fundet i eksempel 2, men med den forskel af afstanden d_0 er defineret anderledes. Ligeledes er udtrykket for den faktiske gradient uændret og det skal hertil bemærkes at trykhøjden h_0 nu er angivet som trykniveauet i sandlaget.



FIGUR 2.3: Byggegrube.